

# LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Questions

Réponses



POUR MIEUX CONNAÎTRE  
LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Avec la contribution de Guillaume MAINCENT,  
journaliste spécialisé dans l'énergie

# Sommaire

1.	Produire de l'énergie avec les énergies renouvelables.....	2
2.	Faire de l'électricité avec des énergies renouvelables .....	7
3.	Faire de la chaleur avec des énergies renouvelables.....	13
4.	L'énergie du vent : l'éolien.....	17
5.	L'énergie des rayons du soleil : le photovoltaïque .....	27
6.	La chaleur du soleil : solaire thermique et thermodynamique .....	36
7.	L'énergie des rivières : l'hydroélectricité .....	41
8.	L'énergie de la biomasse : bois, biogaz et biocarburants.....	48
9.	La géothermie et les pompes à chaleur (PAC).....	58
10.	L'énergie des océans : les énergies marines.....	65
	Abécédaire.....	70
	Sites internet .....	72

# 1

Produire  
de l'énergie  
**avec les énergies  
renouvelables**

**01. Comment se répartit notre consommation énergétique ?**

**Quand on parle d'énergie en France**, nous avons souvent tendance à ne penser qu'à l'électricité. Or, il faut rappeler que 30 % de l'énergie est utilisée pour le transport,

42 % pour la chaleur et seulement 28 % pour nos besoins en électricité.

**Les énergies renouvelables sont par essence locales :**

il s'agit d'utiliser du vent, du soleil, du bois, de l'eau, la chaleur de la terre. Les autres énergies viennent

souvent de loin : pétrole saoudien, gaz russe, etc. Ces importations ont un coût : en 2012, la France a dépensé plus de 60 milliards d'euros. En outre, ces énergies proviennent de régions du monde souvent instables, parfois en situation de conflits. À cet égard, les énergies renouvelables font l'économie de tensions diplomatiques et, en quelque sorte, œuvrent pour un commerce plus pacifique.

**02. Les énergies renouvelables sont-elles un moyen d'alléger notre facture énergétique ?**

**03. À quand une énergie renouvelable qui soit plus qu'un objet de R&D ?**

**C'est vrai, on a souvent l'impression qu'on nous parle des énergies renouvelables comme d'une filière d'avenir, perpétuellement au stade**

de la recherche, et pas encore industrialisable. C'est sans doute parce que, comme dans toutes les nouvelles activités, le progrès technique est rapide. Tous les ans, les industriels innovent et commercialisent des matériels plus performants ! C'est notamment le cas dans le photovoltaïque. Pour autant, l'industrialisation est déjà de mise. Nous n'avons pas attendu le GPS pour construire des automobiles ! Ajoutons que certaines énergies renouvelables, comme le bois ou l'hydraulique, sont mûres et utilisées depuis bien longtemps.

### À court et moyen

**termes**, même si c'est techniquement possible, c'est encore économiquement illusoire. Aujourd'hui, il serait absurde de

fermer toutes nos centrales de production d'énergie non renouvelable pour ne faire que des énergies renouvelables. En revanche, à long terme, pourquoi ne pas viser 100 % ? Dans quelques générations, il sera sans doute possible de faire vivre un pays comme la France rien qu'avec des énergies renouvelables. C'est autant une question de maturité technique et économique qu'une question de volonté politique.

**04. Est-ce raisonnable d'envisager 100 % d'énergie renouvelable ?**

**05. On parle de plus en plus de logements économes en énergie. Quelle place pour les énergies renouvelables dans ces nouvelles constructions ?**

**Une bonne isolation, une ventilation raisonnée et la récupération directe** des apports énergétiques

gratuits comme ceux dégagés par les occupants, l'éclairage, les usages domestiques (électro-ménager en particulier) ou encore ceux captés par les baies vitrées sont des éléments à prendre en compte, mais ce ne sont pas les seuls. Les énergies renouvelables comme le solaire, le bois énergie, les réseaux de chaleur et les pompes à chaleur pour couvrir les besoins restants de chauffage et d'eau chaude sanitaire entrent en jeu. Les nouveaux logements, construits suivant la Réglementation Thermique 2012, permettent de minimiser les consommations d'énergie. L'ajout de matériels économes (éclairage basse consommation, électroménager A++, etc.) à l'intérieur va dans le même sens. Le reliquat de consommation peut tout à fait être couvert par une source locale de production d'énergie renouvelable (solaire, bois, pompe à chaleur, etc.). En ce sens, les énergies renouvelables vont de pair avec l'efficacité énergétique.

**Un bâtiment à énergie positive** est un bâtiment, neuf ou très largement rénové, qui possède une

**06. On parle de bâtiments à énergie positive et de « smart grids ». De quoi s'agit-il ?**

installation à énergie renouvelable, généralement du solaire photovoltaïque, capable de produire une quantité annuelle d'énergie supérieure à sa propre consommation de gaz et d'électricité fournie par les réseaux. Cette performance sera obligatoire pour toutes les constructions neuves à partir de 2020. Quant au smart grid, ce réseau intelligent de distribution locale d'électricité aura pour but d'équilibrer à chaque instant la consommation et la production d'électricité. Il pilotera le fonctionnement de certains équipements ménagers (congélateurs, par exemple) et le chargement des batteries des véhicules électriques, éventuellement en lissant les productions photovoltaïques. Le déploiement de compteurs intelligents est une première étape dans cette direction.

**07. Sait-on faire de la cogénération (c'est-à-dire chaleur et électricité en même temps) aussi avec des énergies renouvelables ?**

**Produire simultanément de la chaleur et de l'électricité** avec la même quantité d'énergie peut se faire quelle que soit la nature de cette énergie. Ainsi,

comme on le fait avec du gaz ou du charbon, on peut faire de la cogénération avec de la biomasse, mais aussi avec de la géothermie ou de l'énergie solaire. L'avantage réside dans le rendement de l'opération : en faisant d'une pierre deux coups, on valorise au maximum l'énergie mise en jeu : jusqu'à 90 %.



2

Faire de  
l'électricité avec  
**des énergies  
renouvelables**

**08. Notre modèle électrique fonctionne bien, pourquoi changer ?**

**Effectivement, le système électrique français est très performant**, et notre parc de production nucléaire l'un des plus

sûrs au monde. Mais 85 % de l'électricité française provient de ressources non renouvelables, qui manqueront un jour : fioul, gaz, uranium. Par ailleurs, le parc de production de pointe repose sur des centrales thermiques, polluantes et émettrices de CO<sub>2</sub>. Le dérèglement climatique, auquel ce CO<sub>2</sub> participe par le biais de l'effet de serre, nous oblige à réduire nos émissions de carbone, donc à remplacer, autant que faire se peut, les énergies fossiles par des énergies renouvelables et décarbonées.

**Oui, pour trois raisons. D'abord, en dépit de la crise et d'une meilleure efficacité énergétique,** nos besoins en électricité

augmentent, car nous sommes toujours plus nombreux et entourés d'objets modernes, fonctionnant à l'électricité. Ensuite, il faut se préparer à l'arrivée des pompes à chaleur et des véhicules électriques : recharger plusieurs millions de batteries nécessitera un parc de production important, et surtout décarboné, afin de ne pas annuler l'intérêt écologique qu'il y a à se passer d'essence et de gazole. Ensuite, il faut préparer le renouvellement des moyens actuels de production.

**09. A-t-on vraiment besoin de moyens de production supplémentaires ?**

## 10. Pourquoi bousculer cinquante ans de centralisation de l'énergie ?

**Les énergies renouvelables modifient l'organisation du système électrique**, parce que tout consommateur peut devenir producteur

d'électricité : photovoltaïque sur les bâtiments, biogaz à la ferme, éolien dans la commune, etc. Dès lors, le modèle centralisé, qui achemine sur de très longues distances de l'électricité produite par quelques centrales de très grosse puissance, n'est plus la seule solution. Le modèle décentralisé proposé par les énergies renouvelables se situe parfois à l'échelle de la région, de la commune, voire du quartier. C'est un moyen de dynamiser un territoire, de valoriser des ressources locales, de tisser de nouveaux liens entre acteurs locaux. Enfin, les solutions de production décentralisée permettent de limiter les pertes en ligne d'électricité lors de son transport. Néanmoins un système électrique avec beaucoup d'énergies renouvelables nécessite du réseau pour permettre de bénéficier de l'effet de foisonnement des différentes sources de production.

**À l'heure actuelle, les énergies renouvelables ne prétendent pas prendre la place du nucléaire**, elles se proposent d'être

un complément et un relai une fois que la part des centrales nucléaires sera réduite. En 2012, le Président de la République s'est engagé à réduire la part de

**11. Est-ce vraiment utile, puisque le parc nucléaire est sûr et amorti ?**

l'atome dans le mix électrique de 75 % à 50 % d'ici à 2025. Évidemment, il faut investir pour déployer les énergies renouvelables, comme il a fallu investir pour déployer le parc nucléaire, il y a quarante ans. Et il faut continuer d'investir aujourd'hui pour que nos centrales nucléaires soient toujours plus sûres.

**12. Les énergies renouvelables, est-ce seulement pour les sites isolés ?**

**Non, même si on a commencé par eux :** chalets de montagne, équipements de voirie, etc. Lorsqu'elles sont injectées sur le réseau électrique, les énergies

renouvelables participent à l'équilibre entre l'offre et la demande.

**La gestion de l'intermittence et de la variabilité est fondamentale dans la gestion d'un système électrique,** avec ou sans

énergies renouvelables : variations importantes de la consommation,

panne et déconnexions de groupes thermiques, etc. Tout est une question d'anticipation de ces phénomènes, afin de pouvoir y répondre lorsqu'ils surviennent. C'est la même chose pour les énergies renouvelables : on est de plus en plus capable de prévoir la vitesse du vent ou l'ensoleillement suffisamment longtemps à l'avance pour que la production soit

**13. Le vent ne souffle pas toujours et le soleil ne brille pas en permanence : que répondre au problème de l'intermittence ?**

parfaitement intégrée à l'équilibre offre-demande. De plus, en répartissant les sources de production d'énergies renouvelables, on diminue l'impact de l'intermittence (on parle de « foisonnement »). En effet, ne pas les concentrer toutes au même endroit évite de voir la production s'effondrer au moindre nuage ou à la moindre « panne » de vent. À 500 kilomètres de distance, la météo est rarement la même !

**14. Les énergies renouvelables électriques coûtent-elles vraiment plus cher ?**

**Tout dépend du mode de calcul retenu.**

Au kilowattheure produit, elles sont effectivement plus chères que celui des centrales

amorties. Mais en intégrant les « coûts externes » tels que l'impact environnemental et l'épuisement des ressources, le constat n'est plus aussi évident ! D'ores et déjà, l'éolien terrestre est compétitif par rapport aux moyens traditionnels de production de l'électricité. L'hydroélectricité est même moins chère. Enfin, le coût des équipements diminue, en particulier celui des modules photovoltaïques.

**Oui, l'industrie française est présente sur toute la chaîne de valeur des énergies renouvelables.**

Certaines de nos entreprises sont même mondialement connues pour leur savoir-faire en la

**15. La France a-t-elle l'outil industriel approprié ?**

matière. Dans les filières éolienne et solaire, les grands ensembliers sont encore majoritairement étrangers, mais ils font appel à de nombreux équipementiers français. Historiquement présente dans l'hydroélectricité, la France dispose maintenant d'acteurs industriels de premier plan, notamment dans l'éolien et les énergies marines. Par ailleurs, le gouvernement lui-même encourage le savoir-faire local, à l'image de l'appel d'offres éolien offshore, exigeant le recours à une industrie de proximité, avec, à la clé, des créations d'emplois et des exportations. Ou encore lorsqu'il accorde un tarif plus élevé au kilowattheure photovoltaïque si l'équipement est réalisé en Europe.

**16. Pourquoi parier sur des énergies qu'on ne sait pas stocker ?**

**En effet, l'électricité est difficile à stocker,** et il faut sans cesse s'employer à faire coïncider production et consommation. Toutefois, certaines solutions de

stockage existent : sous forme de batteries, de retenues d'eau, d'hydrogène, de biomasse, de réserves en barrages et même de gaz. Ces stockages restituent du courant lorsqu'il y en a besoin et lorsque la source de production n'est plus disponible. Pour certaines de ces formes de stockage, les coûts doivent encore diminuer.

The background of the entire image is a solid orange color. Overlaid on this background are several vertical, wavy lines in a lighter shade of orange, creating a sense of movement or heat. These lines are positioned behind the text.

# 3

Faire de la  
chaleur avec  
**des énergies  
renouvelables**

**17. Les énergies renouvelables peuvent-elles faire baisser nos factures de chauffage et d'eau chaude ?**

**Pour les logements collectifs**, les panneaux solaires thermiques, les réseaux de chaleur géothermiques ou au bois constituent une

véritable source d'économies pour les locataires. Dans l'habitat individuel, le chauffage au bois est le moyen le plus économique de se chauffer. Les panneaux solaires thermiques peuvent éviter de payer une facture d'eau chaude pendant les périodes estivales.

**Comme pour le gaz, le charbon ou le pétrole**, la combustion de la biomasse émet du  $\text{CO}_2$ , le principal gaz à effet de serre, qui participe au réchauffement

**18. Est-ce une bonne idée de brûler du bois pour se chauffer, puisqu'il émet du  $\text{CO}_2$  ?**

climatique, et dont le Protocole de Kyoto tente de limiter les émissions à l'échelle de la planète. Mais l'avantage des combustibles renouvelables comme le bois, est de présenter un bilan  $\text{CO}_2$  neutre. Lors de sa croissance, le bois absorbe le  $\text{CO}_2$  de l'air, c'est son oxygène à lui. Sur la balance production + combustion, le bois a donc un bilan carbone nul. Et comme la forêt française est en croissance continue depuis 200 ans, le chauffage au bois émet moins de  $\text{CO}_2$  que la régénération forestière n'en absorbe.

**19. À quoi bon se chauffer aux renouvelables, puisqu'il y a du gaz de schiste ?**

**Le gaz de schiste dont on parle tant est, comme le gaz naturel conventionnel, une énergie fossile,**

source de CO<sub>2</sub> et non renouvelable. Si un jour, la France décide d'exploiter les gisements qu'on lui prête, ce sera donc au détriment de la lutte contre le réchauffement climatique. Mais cela ne semble pas devoir être le scénario des prochaines années, car le président de la République s'est engagé à interdire, durant son quinquennat, l'extraction de gaz de schiste avec la méthode de fracturation hydraulique, pour cause de risque environnemental en sous-sol.

**La production de fluides chauds ou froids n'est pas liée à la nature de l'énergie de départ.**

On peut obtenir du froid avec des énergies renouvelables comme avec d'autres énergies. Ainsi, les pompes à chaleur, qui collectent la chaleur du sous-sol ou de l'air, peuvent apporter cette chaleur au bâtiment ou, lorsqu'elles sont réversibles, rafraîchir celui-ci en renvoyant ses calories vers le sous-sol ou dans l'air. Dans le sud de la France, quelques sites font du rafraîchissement de locaux à l'aide d'eau de mer, ou d'énergie solaire.

**20. Peut-on faire à la fois du chaud et du froid avec les énergies renouvelables ?**

**21. La chaleur renouvelable, n'est-ce que pour la maison ou aussi pour des usages collectifs ?**

**Les deux ! Le solaire thermique, les pompes à chaleur ou le bois-énergie domestique se déclinent en version collective : pour**

un immeuble, une école, un gymnase, ou un réseau de chaleur desservant tout un quartier. Ce dernier cas de figure s'est beaucoup développé ces dernières années, grâce au Fonds Chaleur de l'ADEME, l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de L'Energie. De nombreuses municipalités ont troqué leurs chaufferies au fioul contre des chaufferies au bois ou des forages géothermiques alimentant plusieurs milliers de logements. Cela permet, notamment, aux consommateurs de bénéficier d'un taux réduit de TVA. La chaleur renouvelable trouve également beaucoup d'applications dans l'industrie.

# 4

## L'énergie du vent : l'éolien



**22. Il y a toujours eu du vent, pourquoi n'a-t-on pas fait d'éolien plus tôt ?**

**Souvenons-nous des moulins à vent :** les meuniers s'en servaient pour faire de la farine. De l'énergie du vent, on faisait une énergie

mécanique qui permettait de broyer les grains de blé. Les éoliennes, elles, transforment l'énergie du vent en énergie électrique. Si l'on n'a développé l'éolien que récemment, c'est parce qu'avant, on ne savait pas construire de machines suffisamment puissantes et performantes pour obtenir des quantités d'électricité significatives. Il y a à peine dix ans, une éolienne avait une puissance de quelques centaines de kilowatts contre 2 à 3 mégawatts à terre aujourd'hui et 5 à 6 mégawatts en mer, c'est-à-dire 10 fois plus puissante !

**On n'arrivera jamais à mettre tout le monde d'accord** sur l'aspect esthétique ou inesthétique

**23. L'éolien abîme-t-il le paysage ?**

des éoliennes, tant la question est subjective. Les professionnels le savent, c'est pourquoi ils font tout pour faciliter l'insertion paysagère de leurs machines : avant même la construction d'un parc, le rendu visuel est évalué à l'aide de photomontages. De plus, à la fin de vie du parc, les éoliennes pourront, soit être remplacées par de nouvelles machines, soit retirées. Cela dit, de nombreux sondages montrent que les Français sont majoritairement favorables au développement des éoliennes. L'un d'eux, réalisé dernièrement par IPSOS pour le Syndicat des énergies

renouvelables, fait apparaître que 83 % d'entre eux ont une bonne image de l'énergie éolienne. Et ceux de l'ADEME montrent que plus les Français ont des éoliennes dans leur voisinage, plus ils les apprécient.

#### 24. Les éoliennes sont-elles dangereuses pour la santé ?

**Un rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail** indique que les éoliennes n'ont aucune

conséquence sur la santé des riverains. Pas même un mal de tête qui serait dû aux infrasons ou à l'effet stroboscopique des pales en rotation sur les sources de lumière. Les premières récriminations sont liées au bruit. Or, au pied d'une éolienne, le niveau sonore s'élève à 55 décibels, soit le bruit de l'intérieur d'une maison. Quand le vent souffle fort, on peut tenir une conversation normale juste au pied d'une éolienne.

**Hormis la phase de construction du parc**, très courte, les éoliennes ont peu d'impact sur la faune locale, qui adapte

#### 25. L'éolien nuit-il aux oiseaux et aux chauves-souris ?

son comportement à la présence de leurs nouvelles voisines. Au début du projet, une étude ornithologique identifie toutes les espèces d'oiseaux présentes. Les résultats permettent de déterminer au mieux l'implantation des éoliennes et leur disposition les unes

par rapport aux autres, afin d'éviter et de réduire au maximum les impacts éventuels. Quant aux chauves-souris, leur cohabitation avec les éoliennes fait l'objet d'études approfondies. Leurs allers et venues sont également suivis de très près une fois le parc en fonctionnement.

**26. Les éoliennes constituent-elles un obstacle pour les avions, les radars et la télévision ?**

**En raison de leur hauteur, de leurs dimensions,** des matériaux utilisés pour leur fabrication, et de la rotation des pales, les éoliennes peuvent être à

l'origine de perturbations des ondes hertziennes et du fonctionnement des radars météorologiques, et de navigation aérienne civile ou militaire. Mais des solutions existent pour atténuer ces effets. Concernant les ondes hertziennes, 95 % des cas sont réglés à l'amiable en installant un réémetteur qui évite de brouiller la réception de la télévision alentour.

**Quand les toutes premières éoliennes sont apparues en France,**

certains ont cru y voir une opportunité de gagner de l'argent sans prendre beaucoup de risques et,

il est vrai, certaines éoliennes, à cette époque, ont été installées sans tenir compte de leur environnement.

**27. L'éolien est-il un métier de promoteurs sans scrupules ?**

A ce moment-là, il n'existait pas de réglementation adaptée. Très vite, celle-ci s'est considérablement étoffée, apportant toutes les garanties aux riverains et à leur environnement. Depuis quelques années, la réglementation est même devenue tellement complexe que le développement d'un parc peut prendre jusqu'à huit ans !

**On a parfois l'impression que l'éolien aussi est une énergie importée,** car les

grands assembleurs mondiaux d'éoliennes sont encore étrangers. Mais c'est oublier que la France compte quand même quelques constructeurs, et surtout un réseau complet de fournisseurs de composants. Le nombre de personnes travaillant dans cette filière s'élève à près de 10 000. La démarche « Windustry France », engagée par le Syndicat des énergies renouvelables, recense plus de 200 industriels fournisseurs : fabricants de roulements, câbleurs, etc. Enfin, de nouvelles usines de pièces d'éoliennes et d'assemblage vont sortir de terre, grâce à l'appel d'offres gouvernemental sur l'éolien en mer, qui exige de disposer d'un outil de production proche des lieux d'implantation.

**28. A-t-on vraiment une industrie française de l'éolien ?**

**29. Les éoliennes sont-elles trop proches des habitations (ou l'inverse) ?**

**Les développeurs de projets éoliens doivent respecter un éloignement minimum de 500 mètres** entre les

machines et les premières habitations. À cette distance, le volume sonore d'une éolienne en fonctionnement s'élève à 35 dB, soit l'équivalent d'une conversation chuchotée. Certes, le son augmente avec la vitesse du vent. Cependant, le bruit ambiant, comme le bruit du vent dans les arbres, s'amplifie plus rapidement que le bruit émis par les éoliennes, qui provient du souffle du vent dans les pales.

**Aujourd'hui, la filière éolienne en France représente l'équivalent de 10 000 emplois,** un chiffre qui a connu une forte croissance ces dernières années.

**30. La filière éolienne crée-t-elle de vrais emplois, permanents et non délocalisables ?**

L'objectif d'installer 25 000 mégawatts en 2020, fixé par la loi, portera ce nombre à 57 000 personnes. Car, d'ici là, plusieurs usines de construction de mâts, de pales et d'autres gros composants s'implanteront en France. Par ailleurs, l'installation et la maintenance des parcs nécessitent de faire appel à des entreprises locales. Des emplois sont ainsi créés au cœur même des zones où sont implantées les éoliennes.

**31. En l'absence de vent, doit-on démarrer des centrales polluantes ?**

**C'est l'inverse qu'il faut souligner :** lorsque le vent souffle, il est possible d'arrêter les centrales polluantes. La production d'électricité

éolienne se substitue à la production thermique les trois quarts du temps. Et, par chance, la production éolienne est globalement plus importante en hiver qu'en été, ce qui correspond à nos besoins de consommation électrique saisonniers. Lorsque la production éolienne est faible, elle peut utilement être compensée par une production hydraulique dont les stocks ont été économisés les jours de production plus élevée.

**Il n'y a jamais d'engorgement des réseaux électriques les jours de vent fort,** par le truchement des interconnexions.

Celles-ci permettent de répartir la production éolienne au niveau de l'Europe entière : lorsque le vent souffle fort en France, une partie de l'électricité produite peut être exportée en Espagne, en Allemagne ou en Italie. Cette mutualisation des capacités permet une meilleure régularité de la production éolienne.

**32. Les jours de vent fort, y a-t-il un trop-plein de production éolienne ?**

**33. Pourquoi, lorsque le vent souffle, certaines éoliennes ne fonctionnent-elles pas ?**

**À cela, il y a deux explications.** La première est que certaines machines peuvent être à l'arrêt pour maintenance. Le cas échéant, c'est

l'affaire de quelques jours, voire quelques heures. La seconde est liée à l'effet de sillage : parfois, la configuration du vent est telle qu'il vaut mieux bloquer l'une des machines pour permettre à ses voisines de produire encore plus. La possibilité de moduler le fonctionnement des parcs est l'un des avantages d'une énergie décentralisée : lorsque certaines éoliennes ne tournent pas à pleine puissance, les machines présentes sur d'autres sites peuvent, elles, fournir le maximum de leur capacité. La production s'en trouve lissée.

**Oui, d'autant que durant cette saison, il y a souvent plus de vent que l'été.**

Le 27 décembre 2012, les éoliennes ont fourni jusqu'à 10 % de la consommation nationale d'électricité, avec près

de 6 000 mégawatts de puissance instantanée. Six millions de personnes ont bénéficié de l'énergie du vent ce jour-là. L'hiver, saison où l'on consomme davantage d'électricité, on a autant besoin des éoliennes que des centrales au fioul ou au gaz.

**34. Peut-on compter sur les éoliennes l'hiver, durant les pics de consommation électrique ?**

**35. L'éolien vit-il sous assistance financière de l'Etat ?**

**L'électricité produite avec des éoliennes bénéficie d'une obligation d'achat par EDF, à tarif garanti**

sur dix ans puis dégressif sur cinq ans. EDF se rembourse en touchant une redevance prélevée sur la facture des consommateurs, appelée CSPE, redevance au sein de laquelle l'éolien représente 11,5 % (soit 4 à 5 euros par ménage et par an, hors chauffage électrique). En 2013, ce tarif d'achat s'élève à 8,5 centimes le kilowattheure, une valeur encore supérieure au coût communément admis du nucléaire historique (4,2 centimes), mais comparable à celui du kilowattheure qui sortira de l'EPR de Flamanville (7 à 9 centimes).

**En effet, c'est tentant, mais en mer il est moins aisé de raccorder un parc éolien marin**

au réseau électrique. Cela dit, l'espace maritime

permet d'implanter des éoliennes de puissance supérieure, et surtout de manière concentrée : un seul parc maritime peut développer la même puissance que celle des parcs éoliens terrestres de toute une région. Enfin, la production éolienne maritime est plus stable : en mer, le vent souffle de manière plus régulière. Néanmoins, les capacités d'installation en

**36. Mettre les éoliennes en mer, loin de tout, est-ce la solution ?**

mer ne sont pas illimitées, du fait de la profondeur des fonds et des limites technologiques et le prix du kilowattheure est encore aujourd'hui plus cher.

The background is a solid orange color. Overlaid on it is a large, stylized sun with many triangular rays. In the center of the sun is a lightbulb shape, also in orange, with three horizontal lines below it representing the base of the bulb.

# 5

L'énergie des  
rayons du soleil :  
**le photovoltaïque**

**37. Pourquoi parier sur des systèmes qui ne fonctionnent que 20 % du temps ?**

**Comme l'éolien, le photovoltaïque ne fonctionne pas à pleine puissance 24 heures sur 24, 365 jours par an. C'est ce**

qu'on appelle le facteur de charge, une valeur qui a atteint en moyenne 15 % en 2011 pour le photovoltaïque à l'échelle du parc raccordé au réseau métropolitain. Mais cette plage de fonctionnement n'est pas la même pour toutes les installations : la production des toitures solaires de Bordeaux a lieu dans des fenêtres horaires qui ne sont pas les mêmes que celles des toitures solaires de Strasbourg, puisque la météo est rarement identique. C'est l'avantage des énergies décentralisées : leur variabilité est compensée par leur dispersion.

**On peut implanter des panneaux photovoltaïques**

partout là où il existe des surfaces foncières ou bâties exposées au soleil. Sur les toits, le

photovoltaïque a l'avantage

de produire de l'énergie là où elle est consommée et d'occuper des surfaces qui ont déjà une autre fonction.

Au sol, les grands espaces permettent de déployer des installations de plus grande puissance. Les développeurs de projets privilégient les sols inexploitables et les surfaces en friche, parfois sur d'anciennes décharges !

Mais les panneaux ne reposent jamais à même le sol, ils sont surélevés et laissent la végétation respirer. Les deux applications (sol et toiture) sont complémentaires.

**38. Le photovoltaïque, est-ce mieux sur les toits ou dans les champs ?**

**39. En achetant des modules, n'enrichit-on pas outrageusement les Chinois ?**

**Les soutiens financiers en Europe dédiés à la filière photovoltaïque** ont incité les fabricants de panneaux et de cellules à monter des usines,

effectivement en Chine, mais aussi en Europe et en France. Notre pays compte ainsi plus d'une dizaine de fabricants, aujourd'hui soutenus par un tarif d'achat bonifié pour les panneaux fabriqués dans l'Espace Economique Européen et par des appels d'offres favorisant les projets à contenu industriel local. Il faut aussi avoir à l'esprit que la filière industrielle du photovoltaïque ne se réduit pas uniquement aux seuls panneaux : de la chimie en amont à l'électronique et la mécanique en aval, la filière française compte près de 250 fabricants et centres de Recherche et Développement implantés sur le territoire. Enfin, les parts revenant à l'économie de notre pays liées au coût de production d'un mégawattheure photovoltaïque sont de 83 % minimum pour une installation sur bâtiment et de 79 % minimum pour une centrale solaire au sol, dans le cas d'un financement français.

**Si un panneau solaire demandait autant d'énergie à fabriquer qu'il en produit une fois posé,** il ne servirait pas

à grand-chose. Comme tout objet manufacturé,

un module photovoltaïque requiert de l'électricité à sa fabrication : éclairage de l'usine, acheminement des

**40. Faut-il beaucoup d'énergie pour fabriquer un panneau solaire ?**

fluides, etc. Mais beaucoup moins que l'électricité qu'il produit lorsqu'il est installé, sachant qu'il fonctionnera plus de vingt ans. On évalue entre un à trois ans le temps qu'il faut à un module pour « rembourser » l'énergie que sa fabrication a nécessitée en usine.

**41. Faut-il avoir peur des substances incorporées dans certains panneaux ?**

**Les substances en question, quand il y en a,** sont complètement isolées de l'environnement extérieur. À cet égard, la question de la collecte

et du recyclage des panneaux en fin de vie est cruciale. Des associations européennes, comme Ceres ou PV Cycle, ont été créées pour cela. Une dizaine d'usines de recyclage sont opérationnelles à travers le monde. Par ailleurs, les panneaux photovoltaïques entrent désormais dans le champ de la directive européenne sur les déchets d'équipements électriques et électroniques, ce qui responsabilise encore davantage les producteurs en matière de collecte et de recyclage. Enfin, la marque Alliance Qualité Photovoltaïque (AQPV) garantit que le fabricant a réalisé l'analyse du cycle de vie de ses produits.

**La France a choisi d'axer le développement du photovoltaïque** sur l'intégration au bâti. Cela signifie que le module fait partie intégrante de

**42. Perd-t-on en étanchéité quand on pose des panneaux sur son toit ?**

la structure du bâtiment, en toiture ou en façade. En toiture, il a donc une fonction couvrante, au même titre que des tuiles, des tôles ou des ardoises. Et, comme elles, il doit être parfaitement étanche. La qualité d'un système intégré au bâti est donc cruciale. Plusieurs marques permettent d'identifier les entreprises compétentes dans le domaine : QualiPV ou Qualibat pour les petites installations, Alliance Qualité Photovoltaïque pour les grandes installations.

**43. En l'absence de soleil, dois-je vivre à la bougie ?**

**Fort heureusement, non.**

Par le biais du réseau, les bâtiments équipés de modules photovoltaïques redeviennent des consommateurs

d'électricité « passifs » une fois leur production en sommeil, au coucher du soleil ou les jours de pluie. À l'avenir, on pourra stocker l'électricité produite de jour et la restituer le soir, au moyen de batteries comme, par exemple, celles de la voiture électrique branchée dans le garage. Bien que moins ensoleillée, l'Allemagne possède un parc photovoltaïque beaucoup plus développé qu'en France, et à ce jour, aucun Allemand n'en est réduit à vivre à la bougie !

**La loi oblige EDF à acheter l'électricité produite par des tiers**  
à l'aide de panneaux solaires, à des tarifs variables suivant

**44. L'obligation d'achat par EDF de l'électricité solaire ruine-t-elle les comptes de l'État et du consommateur ?**

la puissance. EDF se « rembourse » en prélevant une redevance, appelée CSPE, sur la facture de tous les consommateurs. Mais cette redevance n'est pas due seulement aux énergies renouvelables ; elle reflète d'autres obligations de service public. Pour le photovoltaïque, la charge prévisionnelle pour 2013 représente environ 2,60 euros par mois et par ménage. Ce soutien correspond au lancement de la filière entre 2006 et 2010. Mais les coûts de production de l'électricité photovoltaïque poursuivent une courbe d'apprentissage rapide au point de se rapprocher du coût de l'électricité distribuée. Ce rattrapage porte un nom pour le consommateur : la « parité réseau ».

**45. Pourquoi l'État encourage-t-il le photovoltaïque tout en baissant les tarifs d'achat ?**

**Comme le coût des équipements photovoltaïque baisse rapidement**, il fallait refléter cette baisse par un ajustement des tarifs d'achat, afin de ne pas créer d'effets

d'aubaine. Le problème auquel la filière était confrontée depuis 2011 était que la baisse desdits tarifs était plus rapide que celle des coûts de revient. Conjuguée à plusieurs autres facteurs, cette baisse tarifaire (de l'ordre de 40 % par an) a abouti à une crise profonde du secteur. Néanmoins, le gouvernement a annoncé plusieurs mesures d'urgence pour préserver l'emploi et l'activité. Entre autres, une revalorisation de 5 % du tarif d'achat pour les installations de puissance inférieure à 100 kilowatts dites « en intégration simplifiée au bâti ».

**46. À force de déployer du photovoltaïque, ne va-t-on pas engorger les réseaux électriques ?**

**Le réseau peut tout à fait supporter**

**l'objectif** du Grenelle de l'environnement, qui est de déployer 5 400 MW photovoltaïques en 2020. Même l'objectif

revendiqué par le SER (20 000 MW en 2020) ne pose pas de problème. Le réseau n'est pas tant contraint par les quantités physiques d'électricité à acheminer [d'autant qu'il est interconnecté avec celui des pays voisins], que par le fait qu'il doit être suffisamment ramifié. Concernant les réseaux à basse tension, le développement du photovoltaïque résidentiel incarne un changement fondamental : l'apparition de sites de production diffus, à l'aval de réseaux électriques prévus initialement pour distribuer de l'électricité produite en amont.

**C'est vrai que cela peut paraître surprenant.** Mais, en plus de soutirer du courant sur le réseau, ces bâtiments injectent sur celui-ci

leur propre production, en totalité, en vertu du contrat d'achat passé avec EDF. Il s'opère donc un double flux d'électrons, à des tarifs et dans des quantités physiques différentes. Toutefois, une réflexion émerge sur l'opportunité de développer l'autoconsommation à l'échelle du bâtiment ou d'un îlot urbain. Dans ce cas,

**47. Pourquoi les bâtiments équipés se fournissent-ils encore sur le réseau ?**

seule une partie restreinte du réseau de distribution serait utilisée : pour fournir de l'électricité lorsque la production photovoltaïque est insuffisante, ou acheminer cette production vers les bâtiments voisins lorsqu'elle est supérieure à la consommation du bâtiment ou de l'îlot.

**48. Pourra-t-on un jour stocker l'électricité solaire ?**

**C'est déjà le cas : on peut stocker de l'électricité solaire,** par exemple dans des batteries ou sous forme d'hydrogène, à partir

d'eau. Cet hydrogène est ensuite retransformé en eau et en électricité dans une pile à combustible. L'avantage est de rendre disponible à la consommation du courant dont la source de production (le soleil) ne l'est plus forcément. C'est ce que fait la centrale Myrte, en Corse. Seule contrainte : il faut veiller à ce que le rendement de l'opération soit intéressant, c'est-à-dire qu'on ne perde pas trop d'énergie en cours de route. La recherche s'intéresse à d'autres procédés de stockage : volants d'inertie, stockage thermique, méthanation (production de méthane à partir d'hydrogène et de  $\text{CO}_2$ ), réaction d'oxydo-réduction, air comprimé, etc.

**49. Si Bertrand Piccard peut voler à l'énergie solaire, nos voitures rouleront-elles un jour grâce au soleil ?**

**Bertrand Piccard a réussi son pari**

parce que les surfaces de l'aéronef couvertes en modules photovoltaïques étaient importantes

au regard de la masse à transporter. Pour des avions classiques ou des voitures, l'équation est différente. Il n'y aura jamais assez de surface disponible et, donc, de puissance photovoltaïque déployable sur son toit pour espérer mettre en mouvement un véhicule d'une tonne. Tout juste pourrait-on alimenter des équipements de bord, comme la climatisation. En revanche, l'énergie solaire peut servir à recharger les batteries d'une voiture électrique, après usage, par exemple dans des parkings recouverts d'ombrières photovoltaïques. D'autres énergies renouvelables sont pertinentes pour les transports, comme les biocarburants.

# 6

La chaleur du  
soleil : **solaire  
thermique et  
thermodynamique**

**50. Les chauffe-eau solaires sont-ils performants ailleurs que sur la Côte d'Azur ?**

**Il est vrai que les régions qui disposent des plus gros parcs de chauffe-eau solaires** sont celles du pourtour méditerranéen. Elles bénéficient d'un bon ensoleillement, mais cela

n'exclut pas les autres régions ! Celles-ci doivent juste prévoir davantage de surface de capteurs pour la même production. Ainsi, dans le sud de la France, un chauffe-eau solaire individuel doté de 2 à 3,50 mètres carrés de capteurs produit de l'eau chaude sanitaire pour une famille de trois ou quatre personnes, à hauteur de 50 à 80 % de leurs consommations. Pour le même usage, il faudra 3 à 5,50 mètres carrés de capteurs dans le nord.

**Non, car il y a aussi du soleil en hiver, même s'il est moins haut dans le ciel.** Il faudra juste plus de temps pour chauffer le même volume d'eau, et solliciter davantage l'énergie d'appoint (le gaz, le bois ou l'électricité). Il faut aussi noter que le solaire thermique fonctionne avec un stockage : l'eau chaude est produite en toiture, mais stockée dans un ballon. Ce dernier peut être utilisé pour l'eau chaude sanitaire, mais parfois aussi pour le chauffage des pièces. On parle alors de système solaire combiné.

**51. Un chauffe-eau solaire me condamne-t-il à ne me doucher que l'été ?**

**52. Le solaire thermique est-il nécessairement une source d'énergie individuelle ?**

**Non, et d'ailleurs, la majorité des installations commandées ces dernières années** sont le fait de bâtiments collectifs,

des immeubles de logements sociaux par exemple. Et cela, au bénéfice des habitants, qui voient leur facture allégée. Le solaire thermique peut aussi servir à alimenter un réseau de chaleur desservant tout un quartier. C'est le pari qu'a fait l'écoquartier de Vidailhan, en banlieue de Toulouse, en y associant le bois-énergie. Une solution qui évitera l'émission de mille tonnes de CO<sub>2</sub> par an par rapport à une solution 100 % gaz.

**Il faut avouer que**

**non** : la technique consistant à concentrer les rayons du soleil sur un fluide surchauffé, qu'on détend dans une turbine pour produire de

l'électricité, est l'apanage des régions peu nuageuses, comme le Sahara. Même des régions chaudes comme nos départements d'outre-mer ne pourront pas en bénéficier. Les grandes puissances pétrolières du Moyen-Orient y pensent pour l'après-pétrole. Aux Etats-Unis, on installe ces centrales dans la « Sun Belt » : Californie, Arizona, Nevada. En France, la technologie est expérimentée dans les Pyrénées et dans le Var.

**53. Le solaire à concentration a-t-il ses chances ailleurs que dans les pays chauds ?**

Des technologies de stockage permettent par ailleurs d'emmagasiner la chaleur produite aux heures où les besoins sont moindres, pour ensuite produire de l'électricité aux moments où la demande est plus importante.

**54. Est-il moral de vouloir couvrir le Sahara de modules solaires à concentration pour nos besoins d'Européens ?**

**La question se pose depuis qu'un consortium d'industriels** a lancé le projet Desertec. Il s'agirait, dans le futur, de couvrir une grande partie

de la consommation d'électricité en Europe avec des énergies renouvelables africaines : éolien, solaire à concentration et solaire photovoltaïque. Certains experts trouvent que c'est là une nouvelle forme de colonialisme, car les Européens viendraient, une fois de plus, « piller » les pays pauvres de leurs ressources naturelles. Mais il y a une nuance importante : il s'agit d'énergies renouvelables qui sont abondantes dans ces pays et qui leur procureraient des revenus substantiels. Il faudra cependant veiller à ce que l'objectif prioritaire soit de répondre à la consommation d'électricité de ces pays, et que seul l'excédent soit envoyé en Europe.

**55. À déployer des miroirs solaires à concentration partout, ne va-t-on pas refroidir la Terre ?**

**Le solaire à concentration consiste à réfléchir,** en les concentrant, les rayons du soleil vers un fluide au moyen de lentilles

et de miroirs. Dès lors, certains s'imaginent qu'ainsi réfléchis, les rayons du soleil ne parviendront plus sur Terre, privant le sol de chaleur. Ce scénario appartient plutôt aux films de James Bond. En effet, ce n'est qu'au droit des centrales solaires que les rayons du soleil sont réfléchis, ce qui représente une partie infime de la surface du globe. Partout ailleurs, l'énergie du soleil continue à être emmagasinée dans le sol. Un tel scénario catastrophe demanderait, depuis l'espace, d'entourer la Terre d'une enveloppe de miroirs contigus : inimaginable !

A large, white, stylized number 7 is positioned in the upper left quadrant of the image. The background consists of several diagonal stripes in two shades of blue, creating a sense of movement and depth.

# L'énergie des rivières : **l'hydroélectricité**

## 56. Les barrages abîment-ils les paysages de montagne ?

**L'hydroélectricité est une énergie ancienne** : les ouvrages datent parfois du XIX<sup>e</sup>

siècle, une époque où la question de l'insertion paysagère ne se posait pas dans les termes actuels. Ils ont aussi contribué à façonner le paysage d'aujourd'hui : de nombreux lacs sont ainsi apparus par la création de retenues hydroélectriques. Depuis de nombreuses années, la filière s'est employée à se développer en harmonie avec son environnement, dans le respect des riverains et des autres usages des rivières : eau potable, eau agricole, eau industrielle, pêche, sports d'eau vive. Une attention particulière est portée, dès la conception d'un ouvrage, à favoriser sa bonne intégration dans l'environnement, qu'il soit urbain, rural ou de montagne.

**Depuis de nombreuses années, l'hydroélectricité a développé des techniques** et des

pratiques pour rendre les ouvrages respectueux de leur environnement, et faire en sorte qu'ils préservent les ressources naturelles et la biodiversité. Les exploitants des barrages doivent ainsi respecter un cahier des charges qui intègre les préoccupations écologiques. L'une des clauses porte sur le « débit réservé », débit qui est restitué dans le tronçon du cours d'eau court-circuité par l'installation, de façon à y garantir une bonne vie aquatique. Par ailleurs, de

## 57. Les centrales hydrauliques ménagent-elles les poissons ?

nombreux barrages ont été dotés de passes à poissons, permettant aux espèces migratrices de remonter la rivière. Enfin, en juin 2010, toutes les parties prenantes ont signé une convention pour une hydroélectricité durable, favorisant la restauration des milieux aquatiques.

**58. Reste-t-il un potentiel hydroélectrique non exploité en France ?**

**Comme la filière hydraulique est ancienne**

et représente la grande majorité de l'électricité renouvelable produite en France, on pourrait penser qu'on ne peut plus

développer le parc de barrages. En réalité, il y a encore des choses à faire. Le Grenelle de l'Environnement a fixé un double objectif : augmenter la production d'énergie de 3 térawattheures (TWh) par an, et augmenter la puissance de pointe de 3 000 mégawatts (MW) (soit deux réacteurs nucléaires de type EPR). L'Union Française de l'Électricité a dressé un inventaire précis des sites encore inexploités, lesquels pourraient produire 11 TWh, soit l'électricité nécessaire à 4 millions d'habitants, si toutefois les zones propices ne sont pas obérées par le processus de classement des cours d'eau. Ceci nécessitera un arbitrage équilibré entre les enjeux de préservation des rivières et les enjeux de production d'énergie hydroélectrique. Les engagements environnementaux pris par les exploitants vont conduire à une réduction de la production des centrales existantes, comprise entre 4 et 6 TWh par an.

**59. Les barrages qui ont ennoyé des vallées ont-ils un bilan carbone satisfaisant ?**

**Tout comme les lacs naturels et les zones humides,** les réservoirs artificiels peuvent émettre des gaz à effet de

serre, sous forme de  $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$  (méthane), lors de la décomposition de la biomasse. Mais dans le même temps, ils peuvent séquestrer de grandes quantités de carbone, ce qui conduit finalement, sur le long terme, à réduire les émissions vers l'atmosphère. C'est dans des conditions climatiques particulières, notamment en milieu tropical ou équatorial, que les processus de formation de gaz peuvent être amplifiés et conduire à des émissions plus importantes. Cependant, en France métropolitaine, les experts s'accordent à dire que les barrages ont « remboursé » depuis longtemps leur « dette carbone ». Aujourd'hui l'hydroélectricité produit une part majeure de l'électricité renouvelable décarbonée.

**La sécurité des riverains des barrages est une préoccupation constante.**

Les autorisations administratives accordées aux exploitants imposent à ces derniers des inspections régulières de leurs ouvrages, voire un suivi en temps réel de leur comportement, ainsi que des études de danger et des revues de sûreté. Tout cela permet de réactualiser régulièrement l'évaluation des risques et les mesures

**60. Est-on en sécurité au pied d'un vieux barrage ?**

de prévention. Par ailleurs, la réglementation dans ce domaine évolue régulièrement, afin de prévenir toujours mieux les accidents et de prendre en compte les risques naturels (séismes, crues).

**Les barrages hydrauliques ont ceci d'intéressant qu'en plus de produire de l'électricité,**

ils peuvent la stocker : en cas de besoin, il suffit

d'ouvrir une vanne pour turbiner, et donc produire, davantage. En France, il existe onze stations de pompage-turbinage (« STEP »). Elles sont constituées de deux réservoirs permettant des transferts d'eau de l'un vers l'autre. Lorsque la production est supérieure à la demande, l'eau du bassin inférieur est remontée vers le bassin supérieur à l'aide de pompes électriques ; inversement, lorsque le réseau a besoin de courant, le bassin supérieur lâche de l'eau vers le bassin inférieur, eau qui est turbinée. Les STEP sont donc un outil utile pour remédier à la variabilité des autres énergies renouvelables et pour assurer l'équilibre du système électrique. Les STEP disposent encore d'un potentiel de développement, mais qui nécessitera un cadre économique adapté pour être déployé.

**61. Faut-il croire aux stations de pompage-turbinage pour stocker l'électricité ?**

**62. Y a-t-il une place pour les petits ouvrages hydrauliques au fil de l'eau ?**

**En France, on compte plus de 2 000 centrales de petite puissance dites « au fil de l'eau », qui**

utilisent le flux naturel du cours d'eau. Parce qu'elles ne nécessitent pas d'ouvrages de stockage, ces installations sont plus faciles à déployer. En 2012, la puissance installée en petite hydroélectricité atteignait 2 300 mégawatts (MW), contre 2 150 MW en 2009. Elle pourrait s'élever à 2 600 MW d'ici à 2020, si toutefois les zones propices ne sont pas obérées par le processus de classement des cours d'eau. Les projets de puissance inférieure à 4,5 MW représentent près du tiers du potentiel identifié.

Les centrales hydroélectriques sont un vecteur de développement dans les vallées de montagne et les zones rurales, où elles contribuent à l'activité économique par des emplois, des taxes et des redevances reversées au territoire.

**Filière industrielle française d'excellence,** mondialement reconnue, bien implantée sur le territoire,

l'hydroélectricité génère aujourd'hui près de 21 000 emplois, directs, indirects ou induits.

Outre les emplois non délocalisables liés à l'exploitation des centrales, ce sont aussi des milliers d'entreprises

**63. La filière hydroélectrique peut-elle contribuer au développement économique et à l'emploi ?**

– souvent des PME locales et des artisans – qui contribuent à la construction, la rénovation ou la maintenance des centrales sur le territoire, dans des domaines extrêmement variés (matériaux et technologies de pointe, automatisme, électricité, télécom, BTP, mécanique, fonderie...).

Au-delà de ces emplois liés au parc actuel, les objectifs de développement de l'hydroélectricité auront un impact significatif sur l'économie. L'exploitation du potentiel résiduel et les investissements qui y sont liés pourraient générer jusqu'à 10 000 emplois supplémentaires.

Ce sont plus de 30 000 emplois directs, indirects et induits qui seraient au total générés par la filière à l'horizon 2020, et plus de 31 000 en 2030.

Le développement de l'hydroélectricité peut donc offrir de belles opportunités pour les sociétés françaises et un réel relai de croissance pour la filière industrielle.

# 8

## L'énergie de la biomasse : **bois, biogaz et biocarburants**



#### 64. Ne risque-t-on pas de raser la forêt française ?

**L'un des premiers gisements de biomasse utilisables** pour faire de l'énergie réside dans la forêt. On ignore trop

souvent que la forêt française s'accroît d'année en année : avec 1,7 million d'hectares gagnés ces deux dernières décennies, sa superficie a doublé depuis 1827, et s'étend aujourd'hui sur 15 millions d'hectares, soit 28 % du territoire. Mais en forêt, le bois énergie ne convoite pas les arbres entiers ; il s'intéresse plutôt aux houppiers et rémanents, résidus des coupes de bois nobles effectuées pour d'autres utilisations (bois d'œuvre pour la construction, menuiserie ou ameublement, industrie de la trituration) et aux sous-produits des industries de transformation du bois. Trois types de combustibles sont valorisés en énergie : le bois bûche, le granulé de bois et la plaquette forestière.

**Le bois énergie est neutre en CO<sub>2</sub>.** Cependant, il peut être une source importante d'émissions atmosphériques (CO, poussières, Hydrocarbures aromatiques polycycliques)

lorsque la combustion a lieu dans des installations rudimentaires et vétustes (notamment la cheminée à foyer ouvert). Par ailleurs, plus un bois est humide, plus il émet de polluants. Pour encourager les bonnes pratiques, le Syndicat des énergies renouvelables a lancé, avec l'Ademe et les industriels de la filière, le label

#### 65. Le bois énergie, source de poussières et de pollution de l'air ?

Flamme Verte, qui classe les appareils de chauffage de chauffage au bois à l'aide d'étoiles, comme pour les hôtels, en fonction de leurs performances énergétiques et environnementales. Les appareils Flamme Verte répondent aux exigences les plus sévères.

**66. Y a-t-il suffisamment de ressources locales en bois pour alimenter les chaufferies biomasse ?**

**Les projections de l'Office National des Forêts (ONF) et de l'Inventaire Forestier National (IFN) montrent que la feuille de route du Grenelle**

de l'Environnement ne posera pas de problème de ressources en bois. Le gisement français est largement suffisant. À condition que la forêt soit entretenue ! En effet, une forêt sous-exploitée est une forêt vieillissante, ce qui signifie qu'elle produit moins de bois et stocke moins de carbone. Des études d'approvisionnement sont systématiquement menées en amont des projets de centrales, afin de s'assurer de la disponibilité de la ressource et de la bonne organisation de la filière locale, des forestiers aux transporteurs. Le bois énergie devient moins pertinent lorsqu'il faut aller chercher la ressource loin, à cause du transport.

**67. Prélève-t-on du bois pour l'énergie aux dépens d'autres utilisateurs ?**

**La filière du bois énergie convoite des ressources**

qui ne sont pas les mêmes que celles des autres industries qui se fournissent en forêt.

Ainsi, les professionnels du bois d'œuvre (menuisiers, fabricants de meubles) utilisent les parties nobles des arbres (en premier lieu, les troncs). Les papetiers ont de plus en plus recours au papier recyclé, et ceux qui produisent eux-mêmes la pâte à papier utilisent des bois de plus gros diamètre et de meilleure qualité que celui qui est destiné au bois énergie. Le bois énergie constitue un débouché pour les bois qui ne sont pas utilisés par les autres industriels, soit pour des raisons de qualité, soit pour des raisons de contexte local.

**Les écologistes le disent et le répètent :** on peut ramasser le bois à terre en forêt, mais il faut en laisser un peu, pour faire

**68. Ne vaut-il pas mieux laisser le bois à terre, pour les microbes et les champignons ?**

vivre l'écosystème des microbes et champignons au sol, limiter l'exportation de minéraux, et donc éviter d'appauvrir les sols. Selon les principes de l'exploitation raisonnée des parcelles forestières, il convient d'ajuster la quantité minimale de ressources à laisser à terre en fonction de la sensibilité du sol (acidité, texture, etc), de l'essence du bois, du type de coupe... En revanche,

il ne faut pas laisser trop de bois au sol, car les arbres dépérissant sur pied relâchent le  $\text{CO}_2$  qu'ils ont capturé lors de leur croissance.

**69. Quel bois utiliser dans un appareil de chauffage ?**

**Les fabricants d'appareils de chauffage au bois**

sensibilisent les usagers à l'utilisation d'un combustible de

haute qualité. Il en existe deux sortes à destination des appareils domestiques : le bois bûche et les granulés de bois. Ces deux combustibles font l'objet de démarches de qualité, à l'aide de certifications basées sur plusieurs critères : longueur, essences de bois utilisées, humidité, pouvoir calorifique, propreté, etc. Pour les bûches, les référentiels s'appellent « NF Biocombustible solide – bois bûche » et « France Bois Bûche », décliné en région, par exemple sous l'appellation « Rhône-Alpes Bois Bûche ». Citons aussi la marque « Le bois de feu » de l'ONF. Pour les granulés, il en existe trois : « NF Biocombustible solide – Granulés de bois », « DINplus » et « ENplus ».

**La méthanisation consiste à transformer des déchets organiques**

(végétaux, fumiers, lisiers,

fruits et légumes avariés, etc.) en biogaz (le méthane) et en un résidu solide, le digestat. C'est le même

**70. Pourquoi développer la méthanisation alors que nos sociétés sont de moins en moins rurales ?**

processus que le compostage, mais en l'absence d'oxygène. Le biogaz produit est source d'énergie. Mais la matière première n'est pas exclusivement agricole. L'industrie agroalimentaire, la papeterie, les cantines scolaires, la restauration d'entreprise, les marchés, et même les ménages produisent eux aussi des biodéchets. La méthanisation est donc tout à fait pertinente aujourd'hui, à condition de bien organiser la collecte. Le biogaz peut produire de l'électricité qui est envoyée sur le réseau électrique, ou être injecté dans le réseau de gaz naturel, que l'on soit en zone rurale ou urbaine.

**71. Les unités de méthanisation provoquent-elles des nuisances olfactives ?**

**Pas quand elles sont gérées correctement.** Les usines de traitement modernes opèrent sous atmosphère contrôlée, dans

des bâtiments placés sous dépression pour éviter la dispersion d'odeurs dans le voisinage. Par ailleurs, suivant les tonnages qu'elles reçoivent, elles relèvent de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Leurs émissions sont donc contrôlées. Enfin, en cas d'émissions odorantes, il existe des produits masquants ou neutralisants, que l'opérateur peut pulvériser dans l'air lors de certaines étapes du processus de traitement, notamment à l'arrivée des déchets organiques.

**72. La méthanisation permet-elle de réduire la quantité de déchets à faire traiter par la collectivité ?**

**Oui, lorsqu'elle est pratiquée sur le lieu même de la production des déchets.** C'est le cas à la ferme : les déchets méthanisés

sur place, dans des installations conçues pour, sont autant de déchets qui n'empruntent pas le circuit local de collecte. La filière s'inscrit dans la logique du retour à la terre : le digestat, obtenu au terme du processus de traitement aux côtés du biogaz, peut être épandu localement. Tout comme le compost, dont il se distingue en ceci qu'il mûrit en l'absence d'oxygène, il fertilisera la terre, pour un nouveau cycle de production organique.

**Cela dépend des**

**cas !** Le biogaz de méthanisation peut être brûlé pour produire de la chaleur s'il existe un utilisateur de cette chaleur à proximité : l'agriculteur lui-même

pour ses salles de traite, un papetier, un serriste.

La vapeur peut être turbinée en électricité et vendue à EDF s'il y a une ligne électrique à proximité. S'il y a un tuyau de gaz naturel non loin, l'injection de biogaz en tant que gaz est possible. C'est par exemple ce que fait la communauté urbaine de Lille, qui touche des recettes sur cette vente de « gaz naturel renouvelable ». Enfin, le biogaz est aussi transformable en carburant, après

**73. Vaut-il mieux valoriser son biogaz en électricité, en chaleur, en biométhane ou en bio-GNV ?**

épuration, pour faire rouler des bus ou des bennes à ordures. C'est ce que font plusieurs décharges avec le gaz émis par les déchets enfouis.

**74. À quoi bon méthaniser les biodéchets, puisqu'ils seraient de toute façon incinérés pour faire de l'énergie ?**

**Il vaut mieux méthaniser les biodéchets** que les brûler dans un incinérateur, pour deux raisons. D'abord, parce que ces déchets sont humides, et il n'est pas

très intéressant, énergétiquement parlant, de les brûler. Ensuite, parce que la méthanisation produit aussi un résidu solide, le digestat (une sorte de compost), qui peut être épandu en agriculture. Ainsi, une partie du carbone retourne au sol. À l'inverse, les résidus solides de l'incinération (appelés « mâchefers ») se présentent à l'état de minéral. On ne peut les valoriser qu'en sous-couche routière.

**Parce qu'une partie de ces produits devenus déchets**

**incorporaient**, au départ, des matières renouvelables :

papier, carton

(fabriqués à partir de sous-produits

du bois), déchets organiques ayant échappé au compostage ou à la méthanisation, bioplastiques, bois

**75. Pourquoi une partie de l'énergie issue de l'incinération des déchets ménagers est-elle reconnue comme renouvelable ?**

en fin de vie, etc. La réglementation européenne classe la fraction biodégradable des déchets ménagers dans la biomasse, et la réglementation française reconnaît à l'incinération un taux de 50 % d'énergie renouvelable. Les 50 % non renouvelables correspondent à l'énergie dégagée par la combustion des déchets de produits et objets qui, de leur vivant, recouraient à des matériaux non renouvelables : métaux, plastiques, etc.

**76. Les biocarburants affament-ils la planète en prélevant des cultures alimentaires ?**

**C'est l'accusation qu'on porte aux biocarburants de la première génération.** En effet, ces biocarburants sont produits à partir d'huiles (pour le

biodiesel) et de sucres ou amidons (pour le bioéthanol ajouté à l'essence) extraits de cultures alimentaires : betterave, blé, maïs, soja, colza. Toutefois, l'accusation doit être fortement nuancée : ce qui est vrai pour le maïs américain ou l'huile de palme indonésienne ne l'est pas pour la betterave et le colza français.

**Parce que, pour obtenir les mêmes additifs qu'avec les biocarburants de première génération** (de l'huile pour le gazole, de l'alcool pour l'essence), le procédé est beaucoup

**77. Pourquoi n'a-t-on pas tout de suite pensé aux biocarburants de deuxième génération, ceux qui utilisent des déchets ?**

plus complexe. En filière alcool (pour produire ce qu'on appelle de l'éthanol ligno-cellulosique), il faut mettre au point des réactions utilisant des enzymes et des levures capables de s'attaquer aux composés (tiges, écorces, etc.) protégeant le cœur de la biomasse, la cellulose, le sucre qu'on pourra ensuite faire fermenter en alcool. En filière huile, il faut mettre au point des procédés thermochimiques dont on doit s'assurer qu'ils ne consomment pas plus d'énergie qu'ils n'en produisent.

**78. Les algues comme source d'énergie, n'est-ce pas la porte ouverte à l'appauvrissement des mers ?**

**Les algues ouvrent la voie à une troisième génération de**

**biocarburants**, qu'on appelle parfois les algocarburants. On utilise surtout des microalgues, capables

de produire une huile utilisable pour la filière biodiesel. Certaines peuvent aussi donner de l'hydrogène, qu'on peut faire réagir avec de l'oxygène dans une pile à combustible pour obtenir de l'électricité. Dans tous les cas, on n'utilisera qu'une infime portion des algues vivant en mer. Et, au besoin, on les cultivera à terre, sous réserve de ne pas dépenser trop d'énergie en éclairage et en chauffage de l'eau de culture.

# 9

## La géothermie et les pompes à chaleur (PAC)

**79. N'est-ce pas une énergie réservée à l'Islande et aux régions volcaniques ?**

**En géothermie, il n'y a pas besoin d'aller chercher des sources de chaleur intense dans le sol**, sauf pour produire de l'électricité. Moins il y a

besoin de puissance pour l'usage final, moins la source a besoin d'être chaude. En Ile-de-France, première région géothermique française, la nappe phréatique du Dogger affiche une température comprise entre 56 °C et 85 °C à 1 700 mètres de profondeur, ce qui est suffisant pour alimenter plusieurs dizaines de réseaux de chaleur desservant des quartiers urbains de plusieurs milliers de logements chacun. On parle ici de géothermie de basse et moyenne énergie. On peut aussi utiliser la chaleur du proche sous-sol à quelques mètres ou dizaines de mètres de profondeur, ainsi que l'eau des nappes phréatiques. On assure ainsi, au moyen de pompes à chaleur, le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments individuels et collectifs. On parle ici de géothermie de très basse énergie.

**Les forages géothermiques n'ont pas d'impact sur la qualité de l'eau souterraine**, pour la simple raison qu'ils

la réinjectent immédiatement après l'avoir prélevée, en circuit fermé. L'eau envoyée dans les bâtiments à chauffer circule dans un circuit secondaire, qui communique avec le circuit primaire au moyen

**80. La géothermie pollue-t-elle nos nappes phréatiques ?**

d'échangeurs de chaleur. Le forage de prélèvement est suffisamment distant du forage de réinjection pour que l'eau à prélever ne perde pas sa chaleur au contact de l'eau réinjectée. Les deux forages forment ce qu'on appelle un doublet géothermique. Comme pour tout forage, une vigilance est apportée pour ne pas mettre en communication la nappe exploitée et les autres nappes, ce qui passe par la mise en place de tubages simples ou doubles lorsque l'enjeu le justifie.

**81. Comment les puits géothermiques gèrent-ils le problème de la corrosion ?**

**Déployée à grande échelle dans les années 1980 sur le bassin parisien** après les chocs pétroliers,

la géothermie a connu certaines difficultés quelques années plus tard. En effet, l'eau de la nappe du Dogger, salée et très minéralisée, causait des problèmes de corrosion sur les tubages des puits, les tuyaux, les pompes et les échangeurs, accélérés par des phénomènes de prolifération de bactéries naturellement présentes dans la nappe. Des inhibiteurs de corrosion et des stratégies de maintenance adaptées ont été mis au point suite à ces difficultés. Aujourd'hui, de nombreuses installations fonctionnent depuis plus de trente ans.

**82. À forer si profondément, ne risque-t-on pas de provoquer des séismes ?**

**La question ne se pose pas dans tous les cas, loin s'en faut.** Quand l'opération est réalisée dans une

nappe qui permet d'obtenir spontanément des débits de production et d'injection conséquents, le risque est nul. C'est le cas par exemple dans l'aquifère du bassin parisien. Lorsque les débits naturels doivent être augmentés pour assurer la viabilité économique de l'opération, on a parfois recours à des techniques de stimulation hydraulique, qui reposent sur l'injection forcée de masses d'eau sous pression. Ce type d'opération déclenche ce que l'on appelle de la « micro-sismicité induite » : pour chaque stimulation, plusieurs milliers de micro-séismes peuvent être induits. Ces opérations diffèrent des techniques employées pour extraire du gaz de schiste en de nombreux points, ne serait-ce qu'au vu des volumes d'eau employés. A ce jour, un seul cas de séisme majeur provoqué par un forage géothermique a été recensé en Europe : en 2006, près de Bâle en Suisse, suite à des stimulations menées à de très fortes pressions.

**On ne réserve la valorisation sous forme d'électricité qu'aux ressources très chaudes** (de 130 à 350 °C), par exemple à Bouillante,

**83. Vaut-il mieux utiliser l'énergie du sous-sol comme source de chaleur ou d'électricité ?**

en Guadeloupe, ou à la centrale expérimentale de Soultz-sous-Forêts, en Alsace. Pour cela, on a recours à des turbines fonctionnant à la vapeur géothermale ou, lorsque la température est plus faible, à ces cycles indirects où le fluide géothermal réchauffe et vaporise un fluide dont la température d'ébullition est inférieure à celle de l'eau. La production de chaleur, elle, se fait en utilisant directement les ressources géothermales dont la température est supérieure à 30 °C, ou par le biais d'une pompe à chaleur pour les ressources peu profondes, de moindre température.

**84. Vais-je perdre mon jardin si j'installe des capteurs géothermiques ?**

**La géothermie peut se pratiquer horizontalement, pour un usage individuel :** on étale un réseau de capteurs sous

forme de serpentins, enterrés à faible profondeur (de 0,60 m à 1,20 m). Selon la technologie employée, la surface de capteurs nécessaire représente une fois et demie à deux fois la surface habitable à chauffer. Pour une maison de 150 m<sup>2</sup>, les capteurs occuperont donc entre 225 et 300 m<sup>2</sup> du jardin. Mais une fois posés, les capteurs sont recouverts de terre, et le jardin retourne à l'état de jardin. Il existe certaines restrictions (pas de plantation d'arbres, par exemple), mais la zone peut tout à fait accueillir une pelouse, un potager, un parking sur caillebotis... D'autres techniques sont disponibles pour consommer moins d'espace, comme les sondes géothermiques verticales.

**85. Les pompes à chaleur géothermiques ont-elles un bon rendement toute l'année ?**

**L'avantage des PAC géothermiques est de disposer d'une source de chaleur**, le sous-sol, dont la température est stable, y compris par grand froid. Elles

restent donc performantes lorsque la température extérieure est faible et/ou lorsque la demande de chauffage est forte. En géothermie, on demande le renfort d'une pompe à chaleur dès que la température du sous-sol ne permet pas une utilisation directe de la chaleur par simple échange. Ainsi, en dessous de 30 °C, on parle de géothermie très basse énergie, une filière qui nécessite des PAC prélevant les calories du sol, ou de l'eau du sol, pour les apporter au circuit de chauffage, qui fonctionne à une température supérieure.

**Comme ce sont « des réfrigérateurs à l'envers », les pompes**

**à chaleur peuvent faire un peu de bruit lorsque le compresseur se**

déclenche. Comme pour le rendement énergétique, un label de qualité atteste des performances acoustiques du matériel. Ainsi, la marque NF PAC de l'AFAQ-AFNOR indique la conformité des pompes à chaleur aux différentes normes en vigueur, ainsi que le respect des performances minimales fixées dans le référentiel n° 414 d'AFNOR Certification, dont le niveau acoustique.

**86. Les pompes à chaleur font-elles du bruit ?**


**87. Toutes les pompes à chaleur sont-elles des équipements d'énergies renouvelables ?**

**Non, si la pompe procure trop peu d'énergie par rapport à ce qu'elle consomme.** Une PAC prélève de la chaleur non seulement dans

le sol, mais aussi dans l'eau, dans l'air, voire dans les effluents thermiques du bâtiment (air vicié, eaux chaudes sanitaires usées). Si elle est très performante, elle rembourse largement la quantité d'électricité ou de gaz qu'elle consomme pour fonctionner. Il s'agit alors indiscutablement d'une énergie renouvelable. Un indice, le COP (coefficient de performance), atteste que cette consommation est aussi réduite que possible. Un COP supérieur à 4 est signe d'un excellent rendement, la part d'électricité consommée étant divisée par quatre par rapport à un chauffage purement électrique.

# 10

L'énergie  
des océans :  
**les énergies  
marines**

A stylized graphic of a wave, rendered in two shades of blue. The wave is positioned in the lower half of the image, with its crest curling over. The background is a solid dark blue.

**88. Pourquoi le barrage de la Rance n'a-t-il pas de petits frères ?**

**Le barrage de la Rance, entre Bretagne et Normandie**, produit de l'électricité à partir d'énergie marémotrice, l'une des énergies

marines. Et en effet, c'est la seule réalisation française de ce type, et l'une des rares au monde. Si on ne l'a pas dupliqué ailleurs depuis sa construction, en 1966, c'est parce que les sites ne sont pas tous propices, et surtout parce qu'entre temps, les hydrocarbures se sont imposés. Toutefois, en 2011, l'ouvrage français a été détrôné par une usine marémotrice sud-coréenne qui développe 254 mégawatts (MW), contre 240 MW sur la Rance.

**L'implantation d'un parc éolien marin ne peut faire l'économie d'une concertation**

**89. Comment réagiront les pêcheurs si on installe des éoliennes au large ?**

avec les autres usagers de la mer, en premier lieu les pêcheurs. Ce dialogue a été prévu dans le cadre des appels d'offres gouvernementaux pour 6 000 MW d'éolien offshore dans les eaux françaises. Tous les pêcheurs n'ont pas été convaincus, mais beaucoup se sont fait à l'idée que les éoliennes ne les empêcheraient pas de naviguer, ni de pêcher. Par ailleurs, plusieurs études montrent que sous l'eau, au pied des éoliennes, les enrochements constituent des lieux de nidification pour la faune et la flore marine.

## 90. Les hydroliennes broient-elles les poissons ?

**Les hydroliennes sont le pendant immergé des éoliennes.** Sous l'eau, les courants mettent en mouvement les pales

des machines, qui produisent ainsi de l'électricité. Mais ces pales tournent très lentement, sans risque pour les poissons de se faire aspirer et broyer. Par ailleurs, certains modèles sont troués en leur centre, comme ceux de Paimpol-Bréhat, pour laisser passer les poissons les plus téméraires.

## Les centrales houlomotrices utilisent l'énergie des vagues,

une énergie cinétique constante et répartie sur toute la surface des océans. Elles peuvent revêtir plusieurs aspects :

bassins à déferlement, grands « serpents » métalliques se déformant au gré de la houle, etc. À l'intérieur, des pistons viennent comprimer un fluide, qui est ensuite envoyé vers une turbine pour produire de l'électricité. Comme ces machines sont en permanence en mouvement, elles doivent être extrêmement résistantes. De plus, la mer est un milieu salé, donc corrosif. C'est pourquoi la filière est encore en phase d'expérimentation, dans des bassins de test aménagés en pleine mer.

## 91. Les centrales houlomotrices résisteront-elles à l'agressivité des vagues ?

**92. Comment raccorder aux réseaux terrestres des installations productrices d'énergie éloignées en pleine mer ?**

**C'est l'un des grands défis du déploiement des énergies marines.** Les parcs sont plus centralisés qu'à

terre, et développent de plus grosses puissances. Le câble doit donc être plus robuste. La pose du câble en elle-même est une technique maîtrisée (on parle d'ensouillage), car on le fait depuis longtemps pour les télécommunications et le transport de pétrole, de gaz ou d'électricité entre îles et continents. En revanche, il ne faut pas trop éloigner les machines, car qui dit linéaire de câble, dit pertes en ligne. En outre, il va falloir apprendre à raccorder les plus gros parcs en courant continu, en lieu et place du courant alternatif, qui n'est pas adapté aux câbles sous-marins.

**C'est l'un des grands enjeux du développement des énergies marines renouvelables.**

Envoyer un bateau ou un hélicoptère sur un parc de production en mer coûte très cher. Réduire le coût de la maintenance sera donc un facteur décisif pour atteindre la compétitivité pour ces énergies. Une première solution réside dans les économies d'échelle : comme le coût de maintenance est peu ou prou le même quelle que soit la puissance de l'installation,

**93. Comment gérer le problème de la maintenance en cas de panne en mer ?**

augmenter celle-ci, avec le même nombre de machines, permet de lisser les frais au kilowattheure produit. Par ailleurs, ces équipements sont conçus sur des critères de robustesse plus exigeants encore qu'à terre, de manière à réduire les besoins de maintenance à leur minimum.

# Abécédaire

## A

**ADEME** : questions 21, 23

**Algues** : question 78

**Autoconsommation** :  
question 47

**Avions** : questions 26, 49

## B

**Barrages** : questions 16,  
56, 57, 58, 60, 61, 70

**Batteries** : questions 06,  
09, 16, 43, 48, 49

**Biocarburants** : questions  
49, 76, 77, 78

**Biogaz** : questions 10, 70,  
72, 73

**Biomasse** : questions 07,  
16, 18, 59, 64, 66, 75, 77

**Bois** : questions 02, 03, 05,  
17, 18, 21, 52, 64, 65, 66, 67,  
68, 69, 75

## C

**Chaleur** : questions 01, 05,  
07, 09, 17, 20, 21, 52, 53, 55,  
73, 79, 80, 83, 85, 86, 87

**Charbon** : questions 07, 18

**Chauffe-eau** : questions 50,  
51

**Climat** : questions 08, 18,  
19, 49, 59

**CO<sub>2</sub>** : questions 08, 18, 19,  
48, 52, 59, 65, 68

**Cogénération** : question 07

**Compostage** : questions  
70, 75

**Concentration** : questions  
53, 54, 55

**CSPE** : questions 35, 44

## D

**Décharge** : questions 38,  
73

**Déchets** : questions 41, 70,  
71, 72, 73, 74, 75, 77

**Desertec** : question 54

**Digestat** : questions 70,  
72, 74

**Dogger** : questions 79, 81

## E

**EDF** : questions 35, 44, 47,  
73

**Emploi** : questions 15, 30,  
45, 62

**Éolien** : questions 10, 14,  
15, 22, 23, 24, 25, 26, 27,  
28, 29, 30, 31, 32, 33, 34,  
35, 36

**EPR** : questions 14, 35, 58

## F

**Fioul** : questions 08, 21, 34

**Flamme Verte** : question 65

**Forêt** : questions 64, 66, 67,  
68, 83,

## G

**Gaz** : questions 02, 06, 07,  
08, 09, 10, 16, 18, 19, 34,

51, 52, 59, 72, 73, 77, 82, 87, 92

**Gazole** : questions 09, 77

**Géothermie** : questions 07, 79, 80, 81, 84, 85

**Granulés** : question 69

**Grenelle** : question 46, 58, 66

## H

**Houle** : question 91

**Hydrogène** : questions 16, 48, 78

**Hydrolienne** : question 90

## I

**ICPE** : question 71

**Incinération** : questions 74, 75

**Interconnexions** : question 32

**Intermittence** : question 13

## M

**Maintenance** : questions 30, 33, 81, 93

**Méthanisation** : questions 70, 71, 72, 73, 74, 75

**Myrte** question 48

## N

**Nucléaire** : questions 08, 11, 14, 35, 58

## O

**Offshore** : questions 15, 89

## P

**Pétrole** : questions 02, 18, 53, 92

**Photovoltaïque** : questions 03, 06, 10, 14, 15, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 54

**Pile à combustible** : questions 48, 78

**Pointe** : questions 08, 58

**Pollution atmosphérique** : question 65

**Pompage-turbinage** : question 62

**Pompe à chaleur** : questions 05, 83, 85

## R

**Raccordement** : questions 36, 37, 92

**Recyclage** : question 41

**Rendement** : questions 07, 48, 85, 86, 87

**Réseau** : questions 05, 06, 12, 17, 21, 28, 31, 32, 36, 37, 43, 44, 46, 47, 52, 61, 70, 79, 84, 92

## S

**Stockage** : questions 16, 48, 51, 53, 62

## U

**Uranium** : questions 02, 08

## V

**Voiture électrique** : questions 43, 49

## W

**Windustry** : question 28

# Sites internet

## ÉNERGIES RENOUVELABLES EN GÉNÉRAL

- SER : [www.enr.fr](http://www.enr.fr)
  - Ademe : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
  - Agence internationale de l'énergie : [www.iea.org](http://www.iea.org)
  - Agence internationale des énergies renouvelables : [www.irena.org](http://www.irena.org)
  - CEA : [www.cea.fr](http://www.cea.fr)
  - Conseil européen des énergies renouvelables : [www.erec.org](http://www.erec.org)
  - Ministère de l'Énergie : [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)
  - Observ'ER : [www.energies-renouvelables.org](http://www.energies-renouvelables.org)
  - Qualit'ENR : [www.qualit-enr.org](http://www.qualit-enr.org)
  - CLER : [www.cler.org](http://www.cler.org)
- 

## ÉOLIEN

- Association européenne de l'éolien : [www.ewea.org](http://www.ewea.org)
  - Conseil mondial de l'éolien : [www.gwec.net](http://www.gwec.net)
  - Suivi éolien : [www.suivi-eolien.com](http://www.suivi-eolien.com)
- 

## PHOTOVOLTAÏQUE

- Association européenne de l'industrie photovoltaïque : [www.epia.org](http://www.epia.org)
- Certisolis : [www.certisolis.com](http://www.certisolis.com)
- Hespul : [www.hespul.org](http://www.hespul.org)
- Institut national de l'énergie solaire : [www.ines-solaire.com](http://www.ines-solaire.com)
- PV Alliance : [www.pvalliance.com](http://www.pvalliance.com)

## SOLAIRE THERMIQUE ET THERMODYNAMIQUE

- Conseil mondial de l'énergie solaire thermique : [www.solarthermalworld.org](http://www.solarthermalworld.org)
  - Desertec : [www.desertec.org](http://www.desertec.org)
  - Fédération européenne de l'industrie du solaire thermique : [www.estif.org](http://www.estif.org)
- 

## HYDROÉLECTRICITÉ

- France Hydroélectricité : [www.france-hydro-electricite.fr](http://www.france-hydro-electricite.fr)
- 

## BIOMASSE

- Association française du GNV : [www.afgnv.info](http://www.afgnv.info)
- Bioéthanol carburant : [www.bioethanolcarburant.com](http://www.bioethanolcarburant.com)
- Biomasse Normandie : [www.biomasse-normandie.org](http://www.biomasse-normandie.org)
- Centre d'étude et de valorisation des algues : [www.ceva.fr](http://www.ceva.fr)
- Club Biogaz de l'ATEE : [www.biogaz.atee.fr](http://www.biogaz.atee.fr)
- Comité interprofessionnel du bois-énergie : [www.cibe.fr](http://www.cibe.fr)
- Flamme verte : [www.flammeverte.org](http://www.flammeverte.org)
- France Bois Forêt : [www.franceboisforet.fr](http://www.franceboisforet.fr)
- Institut du pétrole et des énergies nouvelles : [www.ifpen.fr](http://www.ifpen.fr)
- Institut technique des bioénergies : [www.itebe.org](http://www.itebe.org)
- Inventaire forestier national : [www.ifn.fr](http://www.ifn.fr)
- ONF : [www.onf.fr](http://www.onf.fr)
- Partenaires Diester : [www.partenaires-diester.com](http://www.partenaires-diester.com)
- Prolea : [www.prolea.com](http://www.prolea.com)
- Solagro : [www.solagro.org](http://www.solagro.org)
- Syndicat de la Valorisation des Déchets Urbains : [www.incineration.org](http://www.incineration.org)
- Union des coopératives forestières françaises : [www.ucff.asso.fr](http://www.ucff.asso.fr)

## GÉOTHERMIE

- Association française des pompes à chaleur : [www.afpac.org](http://www.afpac.org)
  - ADEME-BRGM : [www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr)
  - Conseil européen de la géothermie : [www.egec.org](http://www.egec.org)
- 

## ÉNERGIES MARINES

- France Énergies Marines : [www.france-energies-marines.org](http://www.france-energies-marines.org)
- Pôle Mer-Bretagne : [www.pole-mer-bretagne.com](http://www.pole-mer-bretagne.com)

Ce livre vous est  
offert par :



SYNDICAT DES ENERGIES RENOUVELABLES  
13-15 rue de la Baume 75008 Paris  
Tél. : +33 1 48 78 05 60 • fax : +33 1 48 78 09 07  
contact@enr.fr  
www.enr.fr